Die Leistungsfähigkeit von Fluß- und Kanalschleusen

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung der Würde eines Doctor-Ingenieurs genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Gustav Mistol

aus Waldenburg i. Schl.

Referent: Prof. Dr.-Ing. Beger
Korreferent: Regierungs- und Baurat Wechmann

Tag der mündlichen Prüfung: 12. April 1930

1930

Vorbemerkung:

Der in dieser Arbeit behandelte Stoff ist nach dem Wissen des Verfassers in der Literatur nur roh oder gar nicht gestreift worden. Alles Wesentliche ist in den neuesten Auflagen der Hütte: „Des Ingenieurs Taschenbuch“ und des „Taschenbuchs für Bauingenieure“ von Förster enthalten. Zu erwähnen wäre noch die auf den Rhein-Herne-Kanal zugeschnittene Dissertation von Mahr: „Beiträge zur Kenntnis des Schleusenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Rhein-Herne-Kanal.“

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Lebenslauf

Zu Kiel-Dietrichsdorf als Sohn des Baurats Mistol und seiner Ehefrau, geb. Mang, am 13. März 1905 geboren, trat ich nach dreijährigem Besuch der Volksschule zu Altwasser i. Schl. in die Städt. Oberrealschule zu Freiburg i. Schl., an der ich auch die Reifeprüfung ablegte.

Nach Erlernung des Zimmererhandwerks besuchte ich ab Herbst 1923 die Technische Hochschule zu Hannover und bestand am 10. November 1927 die Diplomhauptprüfung in der Fachrichtung für Bauingenieurwesen.

Zur Zeit befinde ich mich im Ausbildungsdienst als preußischer Regierungsbauführer des Wasser- und Straßenbaufaches.

Die Prüfung zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs habe ich am 12. April 1930 mit dem Prädikat „Sehr gut" bestanden.

Der Verfasser.

INHALT

Seite

Zweck der Abhandlung 4

I. Der Begriff Leistungsfähigkeit 4

II. Das Fassungsvermögen der Schleusenkammern . 5

III. Schleusungszeit 6

Die Zeiten der Torbewegung 6

Laufzeit der Schleusengehilfen 7

Kupplungszeit 7

Füll- und Leerzeit 7

Die Verholzeit 9

Die Weglängen 10

Die Geschwindigkeiten 14

Die mittlere Verholzeit 25

IV. Die Schleusenleistung 25

V. Zusammenfassung 27

Zweck der Abhandlung.

Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit der kanalisierten Oder wurden an einer Reihe von Oder-Schleusen verschiedener Größe Messungen der Ein- und Ausfahrtswege der schleusenden Fahrzeuge, der dazugehörigen Fahrgeschwindigkeiten und -zeiten sowie der Füll- und Leerzeiten angestellt. Die Versuchsergebnisse wurden durch 5jährige Aufzeichnungen der Schleusenbeamten über Wasserstände, Zahl der Schleusungen, der geschleusten Fahrzeuge und Schleusenzeiten ergänzt.

Die Untersuchungen haben zwischen Schleusengröße, Schleusenbetrieb und Schleusenleistung gesetzmäßige Zusammenhänge ergeben, die sowohl bei Aufstellung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen als auch bei der Ausbildung und Größenbemessung von Schleusen als Berechnungsgrundlage benutzt werden können.

I. Der Begriff „Leistungsfähigkeit".

Die Leistungsfähigkeit gibt die Summe der Ladetonnen bzw. die Zahl der Fahrzeuge, die in der Zeiteinheit geschleust werden können, an.

Die Schleusenleistung ist im einzelnen abhängig von:

1) dem Schleusenbauwerk:
   der nutzbaren Kammerfläche,
   dem Schleusengefälle,
   den Tor- und Schützantrieben;
2) der Vorhafenform, nach der sich die Lage der Aufstellplätze und damit die Ein- und Ausfahrtswege richten;
3) der Art der Bewegung der Fahrzeuge:
   von Hand,
   durch Schleppschiff,
   durch Treidelanlage;
4) dem Anteil der verschiedenen Fahrzeuggrößen am Gesamtverkehr;
5) der Auslastung der Kähne.

Ganz allgemein muß
erstens,
wieviel Tonnen bzw. Fahrzeuge bei einer Schleusung durchgeschleust

werden können (Fassungsraum der Kammer),
zweitens,
wie lange eine Schleusung dauert (Förderdauer), bestimmt werden.

II. Das Fassungsvermögen der Schleusenkammer.

Das Fassungsvermögen der Schleusenkammer, d. h. die Zahl der Fahrzeuge jeder Schleusung — mit der Zahl der Tonnen je Schleusung soll nur mittelbar gerechnet werden — hängt, sobald der Kammerraum voll ausgenutzt wird, von der nutzbaren Kammerfläche und dem Anteil der Fahrzeuggrößen am Gesamtverkehr ab.

Die nutzbare Kammerfläche F ist das Produkt aus nutzbarer Länge L und Breite B.

Wenn nur Fahrzeuge gleicher Größe, von der Breite B und der Länge L, die Schleuse passieren, beträgt die Anzahl der Schiffe je Schleusung

$$Z = \left[\frac{L}{l}\right] \cdot \left[\frac{B}{b}\right].$$

Beide Faktoren müssen ganzzahlig sein, Brüche sind nach unten abzurunden.

Bei Vorhandensein mehrerer Fahrzeuggrößen mit einem bestimmten Anteil am Gesamtverkehr (das ist Verkehr durch die Schleuse, der mit der Zahl der auf der Wasserstraße verkehrenden Fahrzeuge nichts zu tun hat) errechnet man zuerst den Wert Z gesondert für jede einzelne Fahrzeugart unter der Voraussetzung, daß bei jeder betrachteten Schleusung nur Fahrzeuge gleicher Art die Kammer füllen. Die Wahrscheinlichkeit für jeden dieser Werte Z wird ausdrücklich durch die Wahrscheinlichkeitswerte

$$w = \frac{p}{Z} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn p den Anteil der einzelnen Fahrzeugart am Gesamtverkehr in Prozenten darstellt.

Bei t Ladetonnen je Fahrzeug beträgt die auf eine Schleusung entfallende Tonnenzahl

$$T = t \,.\, Z$$

und damit die mittlere Tonnenzahl je Schleusung

$$T_m = \frac{\sum T \cdot w.}{\sum w}$$

Weiter ist die mittlere Kahnlast $L_m = \frac{\sum t \cdot p}{100}$ und die theoretische mittlere Anzahl der Fahrzeuge je Schleusung $Z_m = \frac{T\,m}{L\,m}$, daraus folgt nach einiger Umformung

$$Z_{m\ theor} = \frac{100}{\sum \frac{p}{z}} = \frac{100}{\sum w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Dieser durch vereinfachte Wahrscheinlichkeitsrechnung gewonnene Wert ist größer als $Z_{m\ prakt.}$ Es ist

$$Z_{m\ prakt.} = Z_{m\ theor.}\ k \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ 3)$$

Der Ausnutzungsfaktor k ist eine Funktion der Kammer- und Fahrzeuggröße und des Anteils der Fahrzeugarten am Gesamtverkehr und, da deren Einfluß sich schon in $Z_{m\ theor.}$ ausdrückt, somit eine Funktion von $Z_{m\ theor.}$ Durch Versuche und Auswertung der statistischen Unterlagen wurde gefunden:

$$k = -0{,}032\ Z_{m\ theor.} + 1{,}032 \quad \ldots\ldots\ldots\ 4)$$

Diese für $Z_{m\ theor.} = 1$ bis 10 ermittelte Gerade stellt eine enge Annäherung an eine leicht gekrümmte Kurve dar, die bei höheren Werten Zm theor. flacher wird. Es empfiehlt sich daher, ab k = 0,5 mit konstantem k zu rechnen.

Die mittlere Tonnenzahl je Schleusung beträgt:

$$T_m = Z_{m\ prakt.} \cdot L_m \quad \ldots\ldots\ldots\ 5)$$

Bei diesem Verfahren sind Schleppdampfer wie Lastfahrzeuge zu behandeln, d. h. man geht auch von dem für sie geltenden Wert Z und ihrem Anteil am Gesamtverkehr aus. Es ist nur zu beachten, daß ihre Ladetonnen t = 0 betragen.

III. Die Schleusungszeit.

Die Schleusungszeit setzt sich zusammen aus:

1) gleichförmigen Zeitaufwänden:
   Zeit für Torbewegung,
   Laufzeit der Schleusengehilfen zwischen den Häuptern,
   Kupplungszeit (siehe weiter unten);
2) ungleichförmigen Zeitaufwänden:
   a) sich gleichmäßig verändernden Zeitaufwänden:
      Füll- und Leerzeit;
   b) sich ungleichmäßig verändernden Zeitaufwänden:
      Verholzeit, die sich aus Ein- und Ausfahrtzeit der Fahrzeuge zusammensetzt.

Die Zeiten für Torbewegung.

Für die mit Stemmtoren versehenen Oderschleusen wurden folgende sich für Schließen und Oeffnen der Tore gleichbleibenden reinen Bewegungszeiten gefunden:

Bei elektr. Antrieb 0,5 Min., bei Handbetrieb 1,0 Min.

Unter Einbeziehung gewisser Verluste, die zwischen Tor- und Schützbewegung nie ganz zu vermeiden sind, erhöhen sich diese Zeitaufwände auf **1,0 und 1,5 Min.**

Diese Werte lassen sich allgemein anwenden, ganz gleich, um welche Art von Toren es sich handelt. Z. B. werden die Klapptore der Schachtschleuse

Minden in 25 Sek. bewegt. Die Schiebetore des Rhein-Herne-Kanals werden in 50 Sek. ausgefahren. Für Hubtore wurde beobachtet: Schachtschleuse Minden 75 Sek., Schleuse Ladenburg (Neckar) 0,5 bis 1 Min. Demnach gelten folgende Zeiten:

a) Bewegung von handbetriebenen Stemmtoren **1,5 Min.**

b) Bewegung von maschinell betriebenen Toren **1 Min.**

Laufzeit der Schleusengehilfen.

Bei jeder vollen Schleusung (Füllen und Leeren) ist der Weg zwischen den Häuptern zweimal durch die Schleusengehilfen zurückzulegen (an manchen Oderschleusen benutzen die Gehilfen das Fahrrad zur Verringerung der Laufzeit). Nach den Messungen an den Oderschleusen erhält man die Laufzeit zu Fuß nach der Beziehung:

$$La = 0{,}85\ L \text{ sec} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 6)$$

L = nutzbare Kammerlänge in m.

Die Laufzeit fällt bei Fernschaltung, durch die die Einschaltung der Schützentriebe von dem gegenüberliegenden Haupt aus ermöglicht wird, fort.

Kupplungszeit.

Beim Herausziehen der in der Kammer befindlichen Kähne durch nicht mitgeschleusten Dampfer fährt der Dampfer nach dem Toröffnen rückwärts in das Haupt, um die Kähne anzukuppeln. Der hierfür erforderliche Zeitaufwand, kurz Kupplungszeit genannt, ist mit **2 Min.** anzusetzen.

Wird bei Verwendung einer Schleppvorrichtung das Schleppseil erst nach dem Toröffnen an den Kähnen befestigt, so ergibt sich ein entsprechender Zeitverlust von **1 Min.**, wie Versuche mit als Schleppmittel benutztem Raupenschlepper ergeben haben.

Füll- und Leerzeit.

Die Füll- bezw. Leerzeit ist, abgesehen davon, daß sie in gewissen Grenzen von Zahl, Art, Lage und Auslastung der sich in der Kammer befindenden Fahrzeuge beeinflußt wird, ein sich gesetzmäßig mit dem Gefälle und der Schützöffnung ändernder Zeitaufwand. Haupterfordernis ist ruhige Lage der Schiffe, der in der Kammer Längsströmungen, Sog- und Schwingungswirkungen entgegenarbeiten. Diese Erscheinungen werden meist durch allmähliches Freigeben der Durchflußöffnungen, Staffelbetrieb, langsame Schützbewegung (hierzu ist mechanische Steuerung der Schützantriebe angeregt worden) auf ein erträgliches Maß beschränkt. Der Zeitaufwand ist größer bei voll ausgelasteten als bei leeren Kähnen. Der Füll- oder Leervorgang kann um so schneller vor sich gehen, je mehr Spielraum die Fahrzeuge in der Kammer haben. Zum Füllen braucht man längere Zeit als zum Leeren, da die geringe Anfangstiefe in der Kammer kleinere Wassermengen und vorsichtige Aenderung der Zuflußmengen bedingt.

Der praktische Betrieb hängt somit von vielen rechnerisch nicht erfaßbaren Zufällen ab, so daß eine genaue Rechnung unmöglich ist. Man geht daher **bei allen bereits bestehenden Schleusen,** deren Leistung untersucht werden soll, am sichersten, wenn man die Füll- und Leerzeiten mißt und die gemessenen Zeiten nach der Beziehung

$$\frac{T_{f,\,e\ \text{gemessen}}}{\sqrt{h\ \text{vorhanden}}}\sqrt{h_m} = T_{f,\,e\ \text{mittel}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7)$$

auf die Mittelwerte umrechnet.

T_f = Füllzeit, T_e = Leerzeit
h = Schleusengefälle.

Genau genommen ist diese Beziehung nur dann richtig, wenn die Durchflußquerschnitte sofort ganz oder staffelförmig freigegeben werden. Bei allmählicher und nicht stoßweiser Freigabe der Querschnitte ist die Füll- bezw. Leerzeit nicht mehr eine quadratische, sondern eine Funktion höherer Ordnung des Schleusengefälles. Die hierdurch entstehenden Abweichungen sind indes so unwesentlich, daß die Genauigkeit obiger Beziehung vollkommen ausreicht.

Bei **Schleusenentwürfen** bleibt, wenn Bauwerke ähnlicher Größe nicht zum Vergleich herangezogen werden können, nur die Rechnung übrig.

Die übliche Formel:

$$T_{f,\,e} = \frac{2\,F_m}{\mu \cdot U\sqrt{2g}} \cdot \sqrt{h} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8)$$

in der F_m die mittlere Kammerfläche,
U den Durchfluß-Querschnitt,
μ den Durchflußbeiwert
bedeuten,

gilt für dauernd ganz freigegebenen Durchflußquerschnitt. Dies trifft nie zu, da der Querschnitt anfangs nur vorsichtig freigegeben wird. Die Formel liefert höchstens durch Zufall ein genaues Ergebnis, da der Durchflußbeiwert μ selten richtig zu erfassen ist. Er hängt von Einlauf-, Krümmungs- und sonstigen Reibungswiderständen ab, die man teilweise durch Schätzung festsetzen muß. Außerdem ist μ veränderlich, da turbulente und laminare Strömungen während der Durchflußzeit abwechseln.

Bei Staffelbetrieb ist eine umständliche Teilrechnung nötig, deren Genauigkeit mit der aufgewandten Arbeit in keinem Verhältnis steht.

Für eine Ueberschlagsrechnung kann man immerhin

$\mu = \sqrt{\frac{1}{1+\Sigma\zeta}}$, worin ζ die nach Weißbach usw. zu ermittelnden Widerstandszahlen (Hütte I, 25. Aufl., Seite 357 ff.) darstellen, errechnen — im allgemeinen ergeben sich μ = Werte zwischen 0,65 und 0,85 — und bei Staffelbetrieb auf die mit Hilfe von Formel 8 gewonnenen Zeiten Zuschläge erheben.

Nach den an den Oderschleusen angestellten Versuchen belaufen sich die Zuschläge auf

60—80 % für Füllen und
40—60 % für Leeren.

Da bei der Größenbemessung von Schleusen Probeberechnungen nötig sind, bis die der geforderten Leistung entsprechende Schleusengröße erreicht ist, lohnt es sich nicht, jedesmal genau Schützverschlüsse, Umlaufform und Umlaufgröße festzulegen. Es empfiehlt sich vielmehr. die Füll- und Leerzeiten nach folgenden Beziehungen zu ermitteln:

Für die Oderschleusen, deren Umläufe einen durchschnittlichen Durchflußbeiwert $\mu = 0{,}65$ haben, und deren Flächenverhältnis $\frac{F}{U}$ zwischen 200 und 250 schwankt, ergab sich bei Staffelbetrieb (F in m²):

$$T_f = (0{,}00125 \cdot F + 2{,}43) \cdot \sqrt{h} \text{ Min.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 9)$$

$$T_e = (0{,}00115 \cdot F + 2{,}0) \cdot \sqrt{h} \text{ Min.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 10)$$

Behält man dieses Flächenverhältnis vorerst bei. rechnet den Durchflußbeiwert aber zu rd. 0,85, so verkürzen sich obige Zeitaufwände auf rund:

$$T_f = (0{,}001 \cdot F + 2{,}0) \cdot \sqrt{h} \text{ Min.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 11)$$

$$T_e = (0{,}0009 \cdot F + 1{,}5) \cdot \sqrt{h} \text{ Min.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 12)$$

Bei mechanischer Steuerung der Schützantriebe und fortlaufender Schützbewegung dürften sich diese für Staffelbetrieb gültigen Zeiten noch um etwa 20 % beim Füllen und 10 % beim Leeren vermindern.

Bei Anwendung aller Formeln ist darauf zu achten, daß die für die Vorkanäle zulässigen Höchstab- bezw. Zuflußmengen (z. B. Schleuse Anderten 40 m3/sec) nicht überschritten werden. Die Formeln gelten nicht für Sparschleusen.

Die Verholzeit.

Die Verholzeit hat den Hauptanteil an der Schleusungszeit. Auf ihre möglichst genaue Ermittlung ist daher der größte Wert zu legen. Sie setzt sich aus Ein- und Ausfahrtzeit zusammen. Die Ein- und Ausfahrtzeiten sind von den Ein- und Ausfahrtwegen und den zugehörigen Fahrgeschwindigkeiten abhängig. Die Geschwindigkeiten ändern sich mit den Weglängen und der Fahrzeugart. Die Weglängen wieder richten sich nach Schleusenbauwerk, Vorhafenform und Fahrzeugart. Es erhellt. daß Verholzeitergebnisse, die auf ohne Berücksichtigung aller dieser Faktoren errechnete mittlere Geschwindigkeiten und Weglängen zurückgeführt werden, wenig zuverlässig sind.

Im folgenden wird der gleiche Weg wie bei Behandlung des Fassungsvermögens der Schleusenkammer eingeschlagen.

Die Verholzeit wird für jede am Gesamtverkehr beteiligte Fahrzeugart, von der die Schleusenkammer Z Fahrzeuge je Schleusung faßt, unter Berücksichtigung des Ausnutzungsfaktors k ermittelt. Aus den Einzelverholzeiten folgt nach Einführung der Wahrscheinlichkeitswerte w die mittlere Verholzeit.

Motor- oder Dampfschlepper sind auch hier gesondert zu betrachten. Bei Bewegung „durch Schleppschiff" ist anzunehmen, daß die Kähne wohl der Kraft des Schleppschiffes unterliegen und die entsprechenden Geschwindigkeiten aufweisen, dieses sich jedoch nicht bei den zu der Schleusung gehörigen Kähnen befindet.

Zunächst sind die Ein- und Ausfahrtwege zu bestimmen.

Die Weglängen.

In der Regel liegen die Fahrzeuge vor der Einfahrt anders zu einander als in der Schleusenkammer, die Abstände nach Beendigung der Ausfahrt sind wieder anders.

Diese Verschiedenheit fällt durch Einführung der relativen Ein- und Ausfahrtwege fort.

Man stelle sich vor, die zu der Schleusung gehörigen Fahrzeuge befänden sich mit den während der Fahrt notwendigen Abständen in Ruhe, und eine an der Außenkante des den Fahrzeugen zugekehrten Schleusenhauptes senkrecht zur Schleusenachse gedachte Bezugslinie bewege sich mit der Geschwindigkeit der Schiffe in bezug auf diese.

Bei der Einfahrt legt die Bezugslinie zuerst den Abstand k_e, der vor der Einfahrt zwischen dem Bug des ersten Fahrzeugs und dem Schleusenhaupt bestand, zurück. Dann gleitet die Bezugslinie an dem ersten Fahrzeug vorbei, im Abstand e folgt das zweite Fahrzeug und so fort. Nachdem das Heck des letzten Fahrzeugs erreicht ist, muß die Bezugslinie noch um die Hauptlänge h vorrücken, bis die Tore geschlossen werden können.

Bei der Ausfahrt passiert die Bezugslinie den Bug des ersten Fahrzeugs, nachdem es um die Hauptlänge h vorgerückt ist. Bei einfachen Schleusungen für Verkehr in nur einer Richtung ist der Ausfahrtweg beendet, sobald die Bezugslinie das Heck des letzten Fahrzeugs erreicht hat. Bei Kreuzungsschleusungen ist noch der Wegabschnitt ka zurückzulegen, bis die Einfahrt für den kreuzenden Zug frei ist.

Man muß demnach zwischen einfachen und Kreuzungsschleusen unterscheiden. Die Einfahrtwege sind für beide Schleusungsarten gleich, denn die Forderung nach Uebersichtlichkeit des Schleusenbetriebes verbietet auch bei einfachen Schleusungen ein zu nahes Heranrücken der Fahrzeuge an das Schleusenhaupt. Bei zu geringem Abstand würden die Fahrzeuge auch nicht die für ausreichende Steuerfähigkeit nötige Einfahrtgeschwindigkeit erreichen. Die Ausfahrtwege sind dagegen bei einfachen Schleusungen um das Maß ka kürzer als bei Kreuzungsschleusungen.

Es ergeben sich bei Z gleichgroßen Fahrzeugen je Schleusung von der Länge l mit dem gleichen Abstand e folgende Werte:

Einfahrtweg: $s_e = k_e + Z \cdot (l + e) - e + h$

Ausfahrtweg: $s_a = h + Z \cdot (l + e) - e\ (+ ka)$.

Die Verteilung der Geschwindigkeiten auf den Wegabschnitten — siehe weiter unten — erfordert es, zwei sich nach der Anordnung der Fahrzeuge in der Kammer richtende Fälle zu unterscheiden.

Fall 1: Die Schiffe fahren hintereinander und liegen in der Kammer auch hintereinander. Hier handelt es sich um „einfache Anordnung" der Fahrzeuge.

Fall 2: Die Schiffe fahren hintereinander, liegen in der Kammer jedoch in zwei oder mehreren Reihen nebeneinander. Hier liegt „Staffelung" vor. Je nach der Anzahl der Reihen ist zwei- oder mehrfache Staffelung zu unterscheiden. Bei n-facher Staffelung ergeben sich folgende Unterabschnitte:

Abschnitt 2a mit dem Ein- und Ausfahrtweg der ersten Reihe;
Abschnitt 2b mit den Ein- und Ausfahrtwegen der zweiten bis (n = 1) ten Reihe;
Abschnitt 2c mit dem Ein- und Ausfahrtweg der n-ten Reihe.

Bei zweifacher Staffelung fällt Abschnitt 2b fort.

Die Ein- und Ausfahrt von Fahrzeugen nebeneinander gehört zu den Ausnahmen, sie sind weder beabsichtigt noch erwünscht. Diese Ausnahmen werden daher bei der Rechnung vernachlässigt.

Obiger Unterteilung entsprechend werden die Wegabschnitte mit s_{e_1}, s_{e_2}, s_{a_1}, s_{a_2}, $s_{e_{1a}}$, $s_{a_{1a}}$, ... usw. bezeichnet. Bei gleichen Gesamtwegen s_{e_1} s_{e_2}, s_{a_1} s_{a_2} entfallen bei n-facher Staffelung folgende Anteile auf die Unterabschnitte:

Abschnitt 2a:

Einfahrtweg: $s_{e\,2a}$ $k_e + \frac{Z}{n}(l + e) - e + h$;

Ausfahrtweg: $s_{a\,2a} = \frac{Z}{n} \cdot (l + e) - e$;

Abschnitt 2b (für jede Reihe einzeln):

Einfahrtweg: $s_{e2b} = \frac{Z}{n} \cdot (l + e)$;

Ausfahrtweg: $s_{a2b} = \frac{Z}{n} \cdot (l + e)$;

Abschnitt 2c:

Einfahrtweg: $s_{e2c} = \frac{z}{n} \cdot (l + e)$;

$s_{a2c} = \frac{z}{n} \cdot (l + e) + h\ (+ ka)$.

Durch Einführung des Ausnutzungsfaktors k ändern sich diease Z theor. entsprechenden theoretischen Weglängen um in **die praktischen, Z prakt.**

$= k \cdot Z$ theor. entsprechenden **Weglängen,** die der Rechnung zugrunde zu legen sind:

1) bei einfacher Anordnung:

Einfahrtweg $s_{e1} = k_e + k \cdot Z \cdot (l + e) - e + h;$ . . . . . 13)

Ausfahrtweg:

a) bei einfacher Schleusung:

$s_{a1} = h + k \cdot Z \cdot (l + e) - e;$ . . . . . 14)

b) bei Kreuzungsschleusung:

$s_{a1} = h + k \cdot Z \cdot (l + e) - e + k_a;$ . . . . . 15)

2) bei u-facher Staffelung:

Einfahrtweg: $s_{e2} = k_e + k \cdot Z\,(l + e) - e + h;$ . . . . . 16)

$$s_{e2a} = k_e + \frac{k \cdot Z}{n}\,(l + e) - e + h; \quad \ldots\ldots\ldots 17)$$

$$s_{e2b} = \frac{k \cdot Z}{n}\,(l + e); \quad \ldots\ldots\ldots 18)$$

(für jede Reihe einzeln)

$$s_{e2c} = \frac{k \cdot Z}{n}\,(l + e); \quad \ldots\ldots\ldots 19)$$

Ausfahrtweg:

a) bei einfacher Schleusung:

$s_{a2} = h + k \cdot Z \cdot (l + e) - e;$ . . . . . 20)

$$s_{a2a} = \frac{k \cdot Z \cdot}{n}\,(l + e) - e; \quad \ldots\ldots\ldots 21)$$

$$s_{a2b} = \frac{k \cdot Z \cdot}{n}\,(l + e); \quad \ldots\ldots\ldots 22)$$

(für jede Reihe einzeln)

$$s_{a2c} = \frac{k \cdot Z \cdot}{n}\,(l + e) + h; \quad \ldots\ldots\ldots 23)$$

b) bei Kreuzungsschleusung:

$s_{a2} = h + k \cdot Z\,(l + e) - e + k_a;$ . . . . . 24)

$$s_{a2a} = \frac{k \cdot Z}{n}\,(l + e) - e; \quad \ldots\ldots\ldots 25)$$

$$s_{a2b} = \frac{k \cdot Z}{n}\,(l + e); \quad \ldots\ldots\ldots 26)$$

(für jede Reihe einzeln)

$$s_{a2c} = \frac{k \cdot Z}{n}\,(l + e) + h + k_a; \quad \ldots\ldots\ldots 27)$$

In diesen Gleichungen sind der Ausnutzungsfaktor k, die Anzahl der Fahrzeuge je Schleusung Z und die Fahrzeuglänge l bereits bekannt. Die Hauptlänge h, die Ein- und Ausfahrtabstände ke und ka und die Fahrzeugabstände e müssen noch ermittelt werden.

Die Hauptlänge h beträgt an den Oderschleusen h = 15 m. Dieser Wert dürfte auch von der Hauptlänge anderer Schleusen nicht erheblich abweichen.

Die Ein- und Ausfahrtabstände ke und ka hängen von der Ausbildung der Schleusenvorkanäle ab. An den Oderschleusen schließen sich die Vorkanalböschungen unmittelbar an die Schleusenhäupter an, so daß die Breite der Fahrrinne, da die wenigen Leitdalben oft schadhaft sind, bereits am Schleusenhaupt ein Mehrfaches der Hauptweite beträgt. Die an der einen Seite des Kanals ankommenden Fahrzeuge nehmen erst kurz vor dem Schleusenhaupt Kurs auf die Schleuseneinfahrt, die ausfahrenden Fahrzeuge biegen bald nach dem Verlassen der Schleuse seitlich ab. Dadurch kann der Abstand ka, den der Bug des letzten ausfahrenden Schiffes von der Schleuse haben muß, um kreuzenden Fahrzeugen die Einfahrt zu ermöglichen, gering gehalten werden. Messungen ergeben folgende Mittelwerte **für die Oderschleusen:**

$$k_e = k_a = 30 \text{ m}.$$

Der an den Oderschleusen übliche Anschluß der Vorhafenböschungen an die Schleusenhäupter ist unzeitgemäß und wird bei neuen Schleusen nicht mehr angewandt, obwohl die dieser Vorhafenform allgemein zugeschriebenen betrieblichen Nachteile nicht vorhanden sind, sobald die Schiffer über die beim Schleusen nötige Erfahrung verfügen.

Bei neueren Schleusen werden die Schleuseneinfahrten mit Leitwerken versehen. Die Leitwerke biegen am Schleusenhaupt nach dem Lande zu schwach ab, gewöhnlich das ausfahrtseitige stärker als das einfahrtseitige. Die Leitwerke sind so abgebogen, daß die auf Einfahrt wartenden Fahrzeuge bis auf Schiffslänge an die Häupter heranrücken können. Daher ist mit folgenden Werten zu rechnen:

$$k_e \quad k_a = l,$$

wobei l die Länge **der größten am Schleusenverkehr beteiligten Fahrzeuge** darstellt.

Die **Abstände e** zwischen geschleppten beladenen und leeren Fahrzeugen auf freier Fahrt sind durch die Schiffahrtspolizeiverordnungen festgesetzt. Manchmal ist auch noch angegeben, auf welches Mindestmaß sie bei der Schleusenein- und -ausfahrt verringert werden dürfen. Ueber die von nicht geschleppten Fahrzeugen einzuhaltenden Abstände ist meist nichts gesagt.

Bestimmungen über Schiffsabstände werden aus Gründen der Betriebssicherheit erlassen. Ein Fahrzeug muß von dem vorfahrenden so weit abbleiben, daß es noch bremsen kann (außerhalb der Schleuse durch Ankerwerfen) und nicht aufläuft, sobald das vordere Schiff aus irgendwelchen Gründen, Havarie und dergl., plötzlich anhält. Der erforderliche Bremsweg hängt abgesehen von der Geschwindigkeit von der zu bremsenden Masse ab. Diese wird durch die Fahrzeuggröße und Auslastung bestimmt. Die zulässigen Mindestabstände müßten demnach bei gleicher Auslastung mit der

Fahrzeuggröße wachsen. Das trifft an den Oderschleusen für beladene Kähne zu, während die Abstände der Leerkähne in den Bergschleppzügen gleich bleiben. Versuche an 10 Oderschleusen verschiedener Größe haben folgende Mittelwerte ergeben:

1) Schleppzüge aus Leerkähnen:
   Abstand des ersten Kahnes vom Schleppdampfer **30 m;**
   Abstand der gekuppelten Leerkähne untereinander **5 m;**
2) Schleppzüge aus beladenen Kähnen:
   Abstand des ersten Fahrzeugs vom Schleppdampfer **50 m;**
   Abstand der gekuppelten Kähne untereinander **0,55 l** (Länge des nachfolgenden Kahnes);
3) nicht gekuppelte beladene Kähne:
   geschleppte und nicht geschleppte Einzelfahrzeuge haben bei gleicher Größe gleiche Abstände: **0,55 l** des nachfolgenden Fahrzeugs.

Beobachtungen über die Abstände ungekuppelter Einzelleerkähne konnten nicht angestellt werden.

Es empfiehlt sich, bei Flußschleusen mit obigen Abstandswerten allgemein zu rechnen. Sie dürften für Schleusen an anderen Strömen eher zu hoch als zu niedrig bemessen sein, denn die für freie Fahrt geltenden Abstände werden beim Passieren von Schleusen meist verkürzt. Soweit obige Abstandswerte für Kanalschleusen nicht zutreffen, ist zweckmäßig mit den in der Wasserpolizeiverordnung vorgeschriebenen Abständen zu rechnen.

Da Schleppdampfer gesondert gehandelt werden, indem man die Schleuse nur mit Schleppdampfern gefüllt annimmt, ist darauf zu achten, daß ihnen untereinander die im Schleppzug zwischen Dampfer und erstem Kahn bestehenden Abstände gegeben werden.

Die Geschwindigkeiten.

Um über Größe und Verlauf der Geschwindigkeiten und die sie bestimmenden Einflüsse Aufschluß zu erhalten, wurden an folgenden Oderschleusen umfangreiche Messungen vorgenommen:

Schleuse Ransern: L = 195 m, Häupter versetzt, Fahrzeuge bei B = 19,65 m immer gestaffelt bei voller Ausnutzung des Kammerraumes;
Schleuse Rosenthal: L = 185 m;
„ Bartheln: L = 187 m;
„ Janowitz: L = 188 m;
„ Ottwitz: L = 67 m;
Gröschelschleuse: L = 55 m;
Schleppzugschleuse Januschkowitz: L = 181 m;
Einschiffsschleuse Januschkowitz: L = 55 m;
Schleuse Krappitz: L = 179 m;
„ Schwanowitz: L = 178 m.

Ferner wurden an den Schleusen Januschkowitz (Schleppzugs- und Einschiffsschleuse), Krappitz, Schwanowitz und Janowitz Schleppversuche mit Raupenschleppern gemacht. Die Schleppgeschwindigkeiten wurden dabei so weit gesteigert, als die Sicherheit der geschleppten Fahrzeuge zuließ. Da diese Forderung für jede Schleppvorrichtung, sei es Raupenschlepper, Schlepplokomotive, -wagen, Treidelkatze usw., in gleicher Weise gilt, können die hierbei gewonnenen Versuchsergebnisse ganz allgemein für Bewegung „durch Treidelanlage" angewandt werden.

Nach Einführung der relativen Wege und Geschwindigkeiten waren die Versuche auf eine verhältnismäßig einfache Art möglich.

An den Vorkanälen wurden Fluchtlinien senkrecht zur Schleusenachse in teilweise noch unterteilten Abständen von 50 m abgesteckt. Durch gleichzeitige Messungen mit Stoppuhr und Taschenuhr wurden die Fahrzeiten für die Wege zwischen den Fluchtlinien, die Zeiten für das Vorbeifahren der Fahrzeuge an den Fluchtlinien und die Gesamtein- und -ausfahrtzeiten ge-

Bewegung „von Hand."

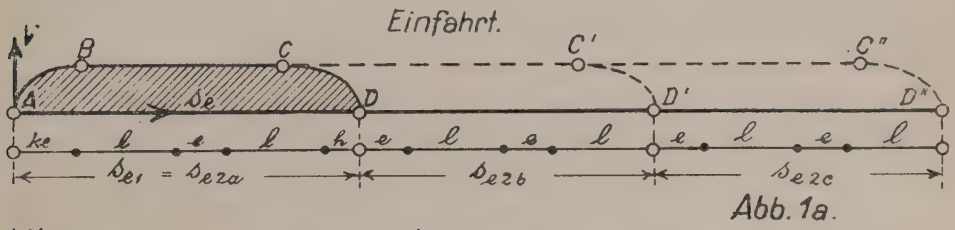


Abb. 1a.

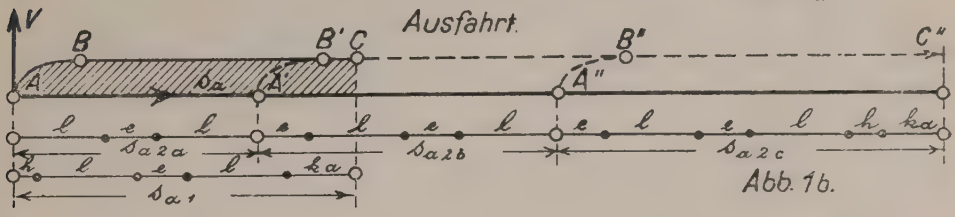


Abb. 1b.

Bewegung „durch Schleppschiff" und durch Treidelanlage."

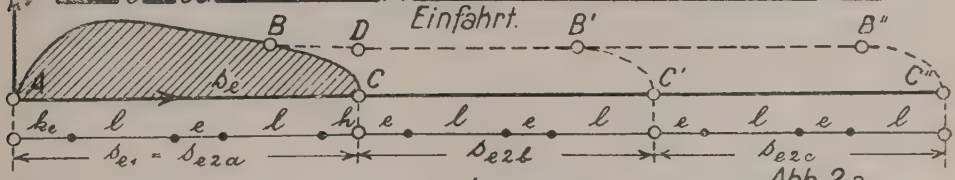


Abb. 2a.

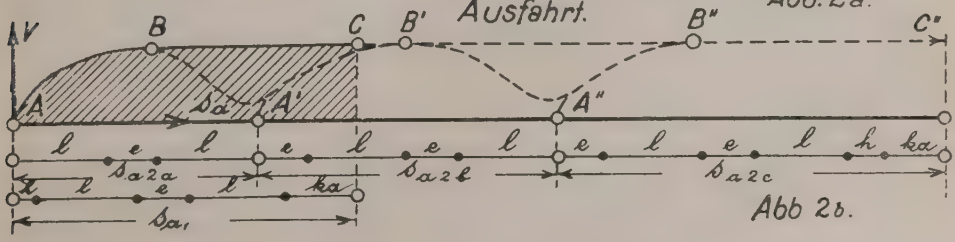


Abb 2b.

messen. Aus den Fahrzeiten und den Weglängen folgten die Geschwindigkeiten der Bezugslinie in bezug auf die ein- oder ausfahrenden Fahrzeuge. Die Bezugslinie wurde meist bei der Einfahrt an Außenkante und bei der Ausfahrt an Innenkante Schleusenhaupt angenommen. Unter Ausschaltung herausfallender Höchstwerte wurde der mittlere Geschwindigkeitsverlauf für die verschiedenen Weglängen durch Mittelung der Einzelkurven zeichnerisch festgelegt.

Die Versuche führten zu der in den Abbildungen 1a, b und 2a, b schematisch dargestellten Verteilung der Geschwindigkeiten über die Weglängen. Abb. 1a und 1b enthalten die für Bewegung „von Hand" geltenden Geschwindigkeitskurven. Die auf den Wegen s_{e1} und s_{a1} bei einfacher Anordnung der Fahrzeuge in der Kammer auftretenden Geschwindigkeiten sind durch starke Kurven mit schraffierter Fläche dargestellt, während die gestrichelten Kurven zu den Wegen s_{e2} und s_{a2} mit ihren Unterabschnitten bei Staffelung gehören. Als Beispiel ist 3fache Staffelung mit je 2 Fahrzeugen in einer Reihe gewählt worden.

Die Kähne werden bei Bewegung „von Hand" durch Staken fortbewegt. Die horizontale Kraftkomponente der in Richtung der schräg eingesetzten Stakhölzer ausgeübten Kraft bewirkt die Fortbewegung der Kähne.

Die Kähne werden auf dem Anfahrtweg A—B beschleunigt und haben von B bis C gleichbleibende Geschwindigkeit, da auf dieser Strecke die Antriebskraft gleich dem Schiffswiderstand ist.

Auf dem während der Einfahrt bei C beginnenden Bremsweg fällt die Antriebskraft fort; oft beschleunigen die Schiffer den Bremsvorgang noch, indem sie den Kahn durch Festlegen von Tauen an Haltekreuzen oder Pollern abbremsen. Bei der Ausfahrt wird die Höchstgeschwindigkeit über den rechnungsmäßigen Ausfahrtweg hinaus beibehalten. Da die Maximalgeschwindigkeit unabhängig von der Weglänge gleich bleibt, ist eine Unterteilung des Weges s_2 bei Staffelung nicht erforderlich.

Abb. 2a und 2b enthalten die Geschwindigkeitskurven bei Bewegung „durch Schleppschiff" und „durch Treidelanlage". Die Art der Darstellung ist die gleiche wie in Abb. 1a, b. Die den beiden Bewegungszuständen entsprechenden Geschwindigkeiten unterscheiden sich nur der Größe nach, während ihre Verteilung über die Weglänge gleich ist. Deswegen können beide Bewegungsarten gleichzeitig behandelt werden.

Die Maximalgeschwindigkeiten ändern sich mit den Weglängen, infolgedessen ist zwischen den Geschwindigkeiten bei einfacher Anordnung und bei Staffelung zu unterscheiden:

1) Einfache Anordnung:

Die Fahrzeuge werden bis zu ihrer Maximalgeschwindigkeit beschleunigt. Bei der Einfahrt läßt dann die Antriebskraft so weit nach, daß der Schiffswiderstand die Bewegungskraft übersteigt.

Zum Schluß fährt das geschleppte Fahrzeug ohne Kraft und bremst bis zum Stillstand ab. Bei der Ausfahrt fällt der Bremsweg fort. Die Maximalgeschwindigkeit wächst mit der Weglänge, bis der zulässige Höchstwert erreicht ist.

2) Staffelung:

Für die Geschwindigkeit der ersten Reihe gilt bei der Einfahrt das für einfache Anordnung gesagte. Nur der letzte Abschnitt des Bremsweges tritt bei den relativen Geschwindigkeiten nicht in Erscheinung, sondern die Geschwindigkeit geht für die zweite Reihe sanft zu der für Bewegung „von Hand" geltenden Höchstgeschwindigkeit über. Dieser Wert wird auch von der letzten Reihe bis zum Beginn des Bremsweges beibehalten.

An Schleuse Ransern, die ungefähr doppelt so groß ist als die übrigen Schleppzugsschleusen der Oder, kam es vor, daß mehrere kurze, mit Dampfer gezogene Schleppzüge gleichzeitig geschleust wurden. Nur der erste Zug konnte seine volle Geschwindigkeit bei der Einfahrt entfalten, während die Einfahrt der nachfolgenden so vorsichtig und mit solchen Abständen erfolgen mußte, daß die Einfahrt die gleiche Zeit erforderte, als wenn alle Reihen außer der ersten „von Hand" bewegt worden wären.

Während der Ausfahrt wird die erste Reihe bis zu ihrer Maximalgeschwindigkeit beschleunigt. Die Geschwindigkeit wird dann aber wieder so weit verlangsamt, daß die inzwischen „von Hand" in Bewegung gesetzte zweite Reihe angekuppelt werden kann. Dieses Manöver wiederholt sich beim Ankuppeln jeder folgenden Reihe. Der Schleppzug kann seine volle Geschwindigkeit erst nach dem Ankuppeln der letzten Reihe entwickeln. Die Maximalgeschwindigkeiten ändern sich wie bei der Einfahrt mit den Weglängen.

Werden mehrere Schleppzüge gleichzeitig geschleust, so kann sich der folgende Dampfer immer erst dann in Bewegung setzen, nachdem der vorfahrende Zug den Weg freigegeben hat. Die hierdurch entstehenden Zeitverluste wirken sich derart aus, daß die Gesamtausfahrzeit sich nicht wesentlich von der eines einzigen gestaffelten Schleppzuges unterscheidet.

Bei nicht mitgeschleustem Schleppdampfer wird das Schleppseil vor der Schleuse abgeworfen. Der Dampfer fährt zur Seite, um den Fahrweg frei zu machen. Die Fahrzeuge verlieren in diesem Falle die durch den Schlepper erhaltene Beschleunigung sehr schnell, um dann mit der für Bewegung „von Hand" geltenden Geschwindigkeit einzufahren. Das wirkt sich schon bei einfacher Anordnung so aus, daß man bei der Einfahrt zweckmäßig nur mit den Geschwindigkeiten „von Hand" rechnet. Bei der Ausfahrt hingegen spielt es für die Geschwindigkeiten keine Rolle, ob der Dampfer mitgeschleust wird oder nicht. Die Versuche wurden zu einer Zeit, in der die Wasserführung der Oder volle Auslastung der Kähne bis zu einer Tauchtiefe von

1,50 m zuließ, vorgenommen. Die Versuche schlossen Geschwindigkeitsmessungen an beladenen und leeren Kähnen ein. Von Anfang an wurde besonderer Wert darauf gelegt, Schleusungen zu erfassen, die nur oder doch hauptsächlich Breslauer Maßkähne enthielten, was aber nicht ausschloß, die Geschwindigkeiten aller anderen Fahrzeugarten während der Versuchszeit mit zu messen. Es handelte sich dabei um folgende, am Oderverkehr beteiligte Fahrzeugarten:

1) Klodnitzkähne: Länge 34,5 m, Breite 3,98 m, größte Tauchtiefe 1,60 m, Ladefähigkeit 150 t, Ladung bei 1,50 m Tauchtiefe 137 t, Besatzung 2 Mann;

2) Finowschiffe: Länge 40,2 m, Breite 4,60 m, größte Tauchtiefe 1,80 m, Ladefähigkeit 225 t, Ladung bei 1,50 m Tauchtiefe 168 t, Besatzung 2 Mann;

3) Berliner Maßkähne: Länge 46,5 m, Breite 6,65 m, größte Tauchtiefe 1,65 m, Ladefähigkeit 350 t, Ladung bei 1,50 m Tauchtiefe 309 t, Besatzung 2 Mann und 1 Schiffsjunge;

4) Breslauer Maßkähne: Länge 55 m, Breite 8 m, größte Tauchtiefe 1,65 m, Ladefähigkeit 540 t, Ladung bei 1,50 m Tauchtiefe 478 t, Besatzung 3 Mann;

5) Plauer Maßkähne: Länge 55 m, Breite 8 m, größte Tauchtiefe 1,80 m, Ladefähigkeit 660 t, Ladung bei 1,50 m Tauchtiefe 522 t, Besatzung 3 Mann;

6) Neue Plauer Maßkähne: Länge 67 m, Breite 8,20 m, größte Tauchtiefe 1,80 m, Ladefähigkeit 760 t, Ladung bei 1,50 m Tauchtiefe 600 t, Besatzung 3 Mann.

Die Schleppdampfer entsprechen im Breslauer Bezirk ihrer Größe nach etwa einem Finowschiff, in den oberen Oderstrecken etwa einem Klodnitzkahn.

Die mit Breslauer Maßkähnen angestellten Versuche sind als Ausgangsversuche zu betrachten. Die Geschwindigkeiten dieser Kahnart wurden für die übrigen Kahnarten umgerechnet. Die an diesen Kahnarten vorgenommenen Versuche dienten zur Nachprüfung der errechneten Geschwindigkeitswerte.

Nachdem die Geschwindigkeiten der Breslauer Maßkähne in Kurven für verschiedene Weglängen festgelegt waren, erfolgte die Umrechnung auf Grund folgender Ueberlegung:

Die Maximalgeschwindigkeiten und die zu Anfahrt und Bremsweg gehörigen Werte sind verschieden zu behandeln. Während der Maximalgeschwindigkeit ist die aufgewandte Bewegungskraft gleich dem Schiffswiderstand, bei der Anfahrt überwiegt die Bewegungskraft, während des

Bremsweges überwiegt der Schiffswiderstand, bezw. die Bewegungskraft fällt ganz fort oder wird noch durch eine Verzögerungskraft ersetzt.

1) Maximalgeschwindigkeit:

Bei Bewegung „von Hand" ist die Bewegungskraft gleich der beim Staken wirkenden horizontalen Kraftkomponente. Der Breslauer Maßkahn hat 3 Mann Besatzung. Die Bewegungskraft wird durch 2 Mann erzeugt, der dritte ist Steuermann. Die Bewegungskraft P ändert sich mit der Besatzungszahl. Rechnet man die Kraft eines Schiffsjungen gleich der halben Kraft eines Vollschiffers, so ergeben sich für die übrigen Kahnarten folgende Bewegungskräfte, wenn P = W und W der Widerstand des mit Maximalgeschwindigkeit fahrenden Breslauer Maßkahnes sind:

Klodnitzkahn: $\frac{W}{2}$;

Finowschiff: $\frac{W}{2}$;

Berliner Maßkahn: $\frac{3}{4}$ W;

Plauer Maßkahn: W;

Neuer Plauer Maßkahn: W.

Mit Hilfe der in Förster, Taschenbuch für Bauingenieure, Band II, S. 637/638, 5. Aufl., enthaltenen Formeln wurden die Schiffswiderstände als Funktion der Geschwindigkeiten zeichnerisch dargestellt. Die den verschiedenen Bewegungskräften entsprechenden Geschwindigkeiten konnten, da die Antriebskräfte nach Kenntnis der Geschwindigkeit und damit des Widerstandes der Breslauer Maßkähne festlagen, diesen Kurventafeln entnommen werden.

Bei Bewegung „durch Schleppschiff" und „durch Treidelanlage" setzt die Forderung nach Bremsmöglichkeit der allzu großen Steigerung der Geschwindigkeit eine Grenze. Die Schiffer beschleunigen das Abbremsen eines einfahrenden Schiffes, indem sie Taue oder Seile an den Pollern oder Haltekreuzen festlegen und dann langsam wegfieren, um ruckartiges Anhalten zu vermeiden. Zu große Geschwindigkeiten steigern die Havariegefahr. Wenn man, ausgehend vom Breslauer Maßkahn, z. B. den Klodnitzkähnen Höchstgeschwindigkeiten beimessen würde, die einer dem Widerstand des Breslauer Maßkahns gleichen Bewegungskraft entsprechen, würde man viel zu hohe Werte erhalten. Die Bewegungskraft ändert sich bei großen Unterschieden in den Schiffswiderständen vielmehr mit der Fahrzeuggröße.

Die Antriebskräfte stehen, da Menschenkraft am Bremsvorgang beteiligt ist, in einem den Besatzungsstärken entsprechenden Verhältnis. Die Umrechnung der Geschwindigkeiten erfolgte daher auf gleiche Art wie bei der Bewegung „von Hand". Es war für diese Art der Umrechnung gleichgültig, ob Schleppdampfer oder Schleppvorrichtung einen oder mehrere Kähne im

Anhang hatten, da die Schleppkraft jeweils so groß ist, daß die Geschwindigkeiten bei konstanter Weglänge unabhängig von der Zahl der geschleppten Fahrzeuge gleich bleiben.

2) Bei Ermittlung der **Anfahrt- und Bremsweggeschwindigkeiten** errechneten sich die Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte des Breslauer Maßkahns für die einzelnen Zeitabschnitte nach den Beziehungen

$$b = \frac{g}{G} (P - W) \text{ und}$$

$$z = \frac{g}{G} (W - P), \text{ worin}$$

g die Erdbeschleunigung, G das Kahngewicht, P die Antriebs- bzw. Verzögerungskraft, W den Schiffswiderstand bedeuten. Die Beschleunigungen b und Verzögerungen z sind den Geschwindigkeitskurven, die Widerstände W den Widerstandskurven entnommen worden.

Nachdem die Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte für jeden Zeitabschnitt im Verhältnis der Besatzungsstärke festgelegt waren, wurden Beschleunigung und Verzögerung abschnittweise für jede Fahrzeugart derart berechnet, daß die Summe aus Beschleunigungen und Verzögerungen die Maximalgeschwindigkeit ergeben mußte.

Die bereits oben erwähnte Nachprüfung der errechneten Werte durch die Geschwindigkeitsmessungen an den einzelnen Fahrzeugarten bewies die Richtigkeit der Rechnung.

Aus den Kurven $v = f(s)$ (v = Geschwindigkeit, s = Weglänge) folgten die Kurven $\frac{1}{V} = f(s)$, deren graphische Integration die Ein- und Ausfahrtzeiten ergab. Der Quotient aus Zeiten und Weglängen lieferte die in den nachfolgenden Abbildungen zeichnerisch als Funktion der Weglängen dargestellten mittleren Geschwindigkeiten für die bis zu 1,50 m Tauchtiefe beladenen Fahrzeuge. In diesen Kurven können die mittleren Geschwindigkeiten für jede beliebige Weglänge abgegriffen und daraus die Fahrzeiten ermittelt werden.

Es gelten:

Kurve 1 für Klodnitzkähne,
„ 2 „ Finowschiffe,
„ 3 „ Berliner Maßkähne,
„ 4 „ Breslauer Maßkähne,
„ 5 „ Plauer Maßkähne,
„ 6 „ Neue Plauer Maßkähne.

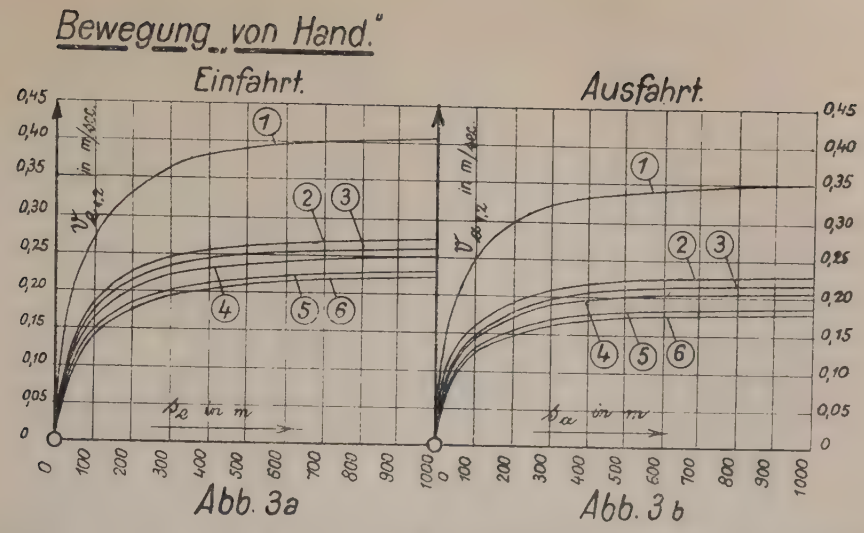


Abb. 3a Abb. 3b

Abb. 3a enthält die Einfahrtgeschwindigkeit, Abb. 3b die Ausfahrtgeschwindigkeiten bei Bewegung „von Hand".

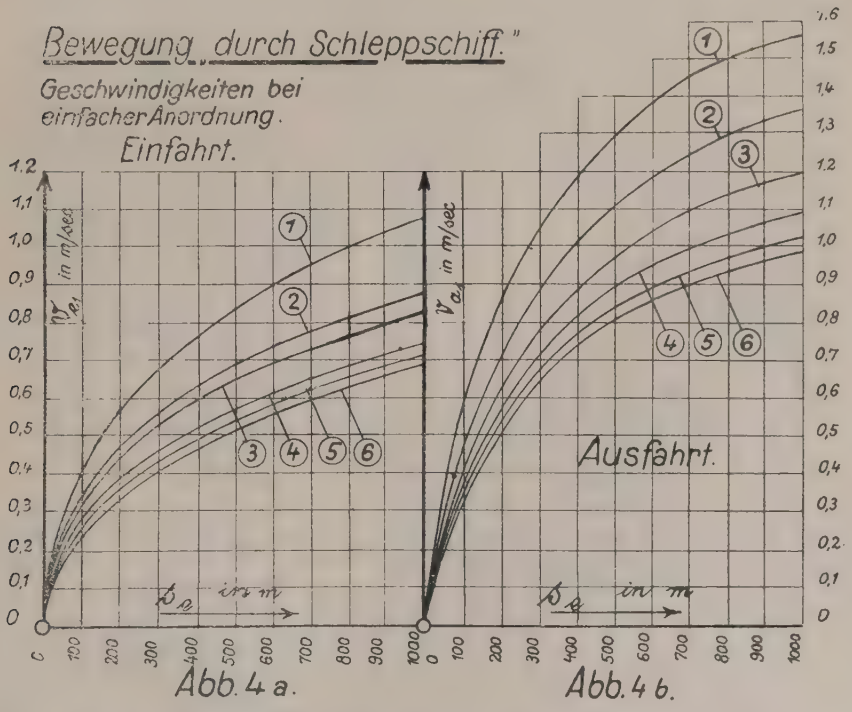


Abb. 4a. Abb. 4b.

In Abb. 4a sind die Einfahrtgeschwindigkeiten, in Abb. 4b die Ausfahrtgeschwindigkeiten bei Bewegung „mit Schleppschiff" und einfacher Anordnung der Fahrzeuge in der Kammer dargestellt.

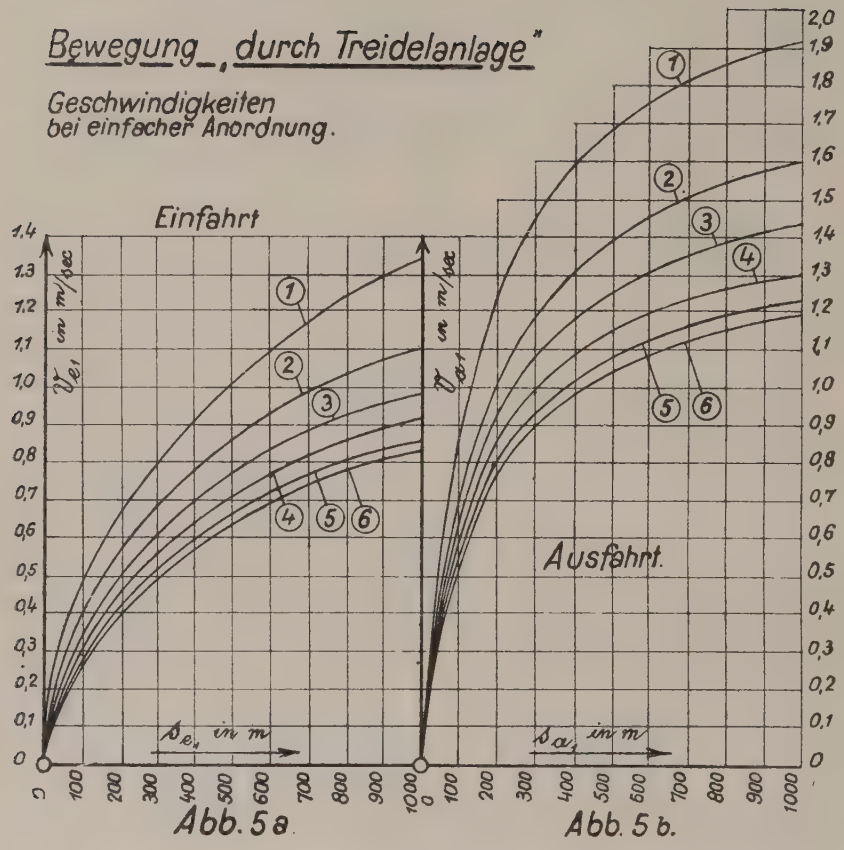
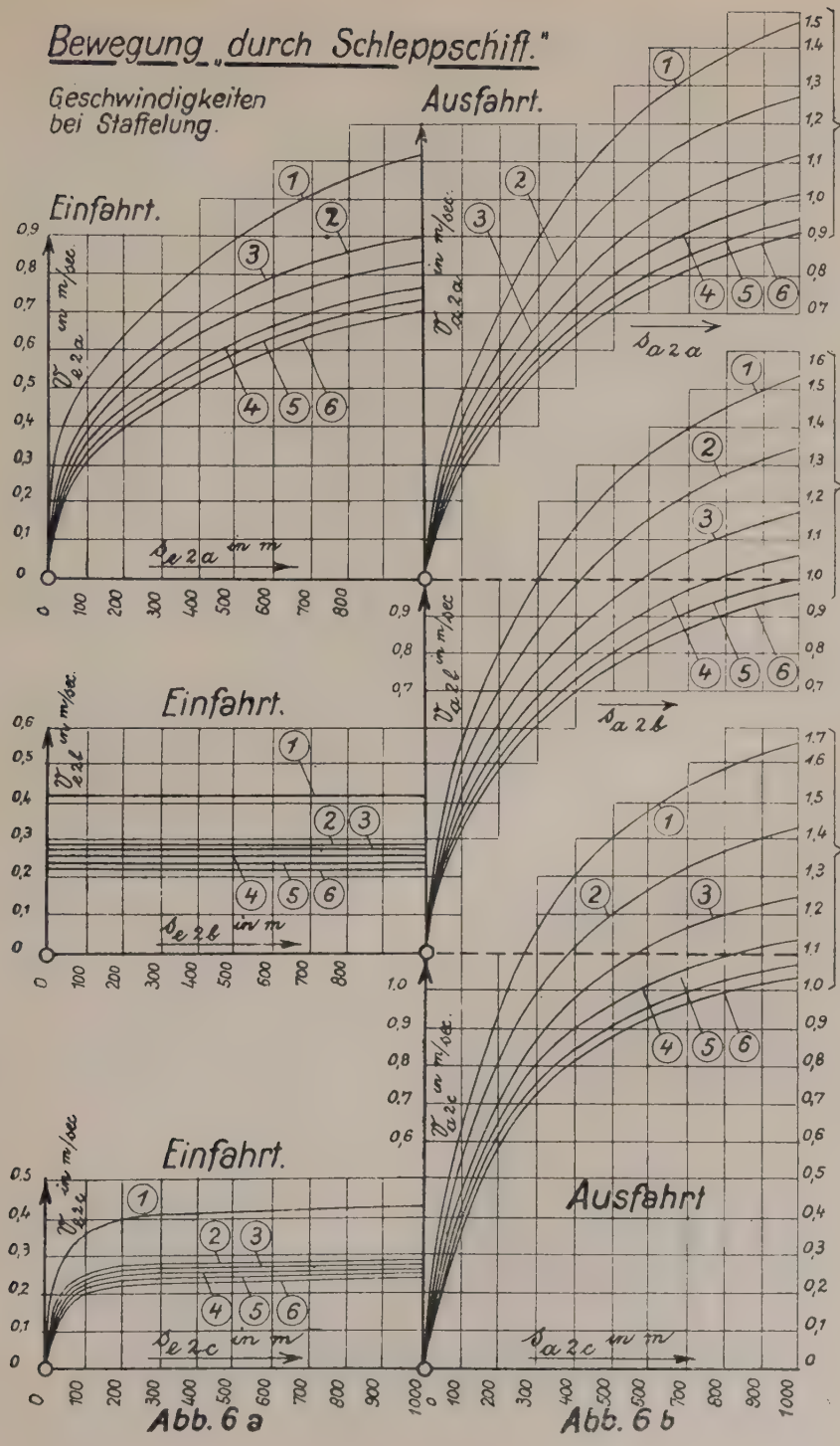
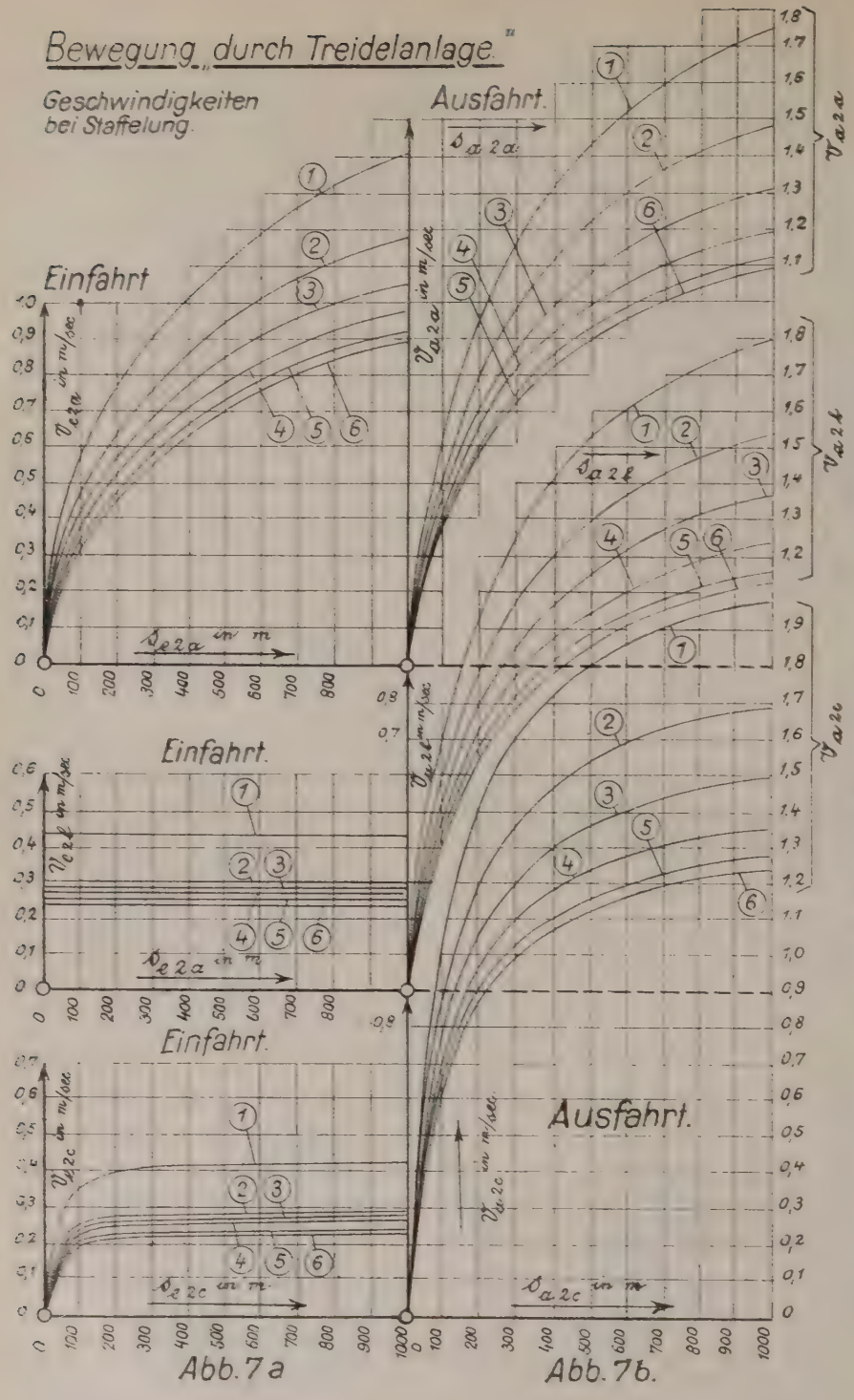


Abb. 5a, b enthalten die gleichen Kurven der mittleren Geschwindigkeiten für Bewegung „durch Treidelanlage".



In den Abb. 6a, b sind die Ein- und Ausfahrtgeschwindigkeiten bei Bewegung „durch Schleppschiff" für die bei Staffelbetrieb notwendigen Unterabschnitte aufgetragen worden.



In den Abb. 7a, b sind die gleichen Kurven für Bewegung „durch Treidelanlagen" enthalten.

Diese Kurven beziehen sich, genau genommen, nur auf Fahrzeuge, die bis zu 1,50 m Tauchtiefe beladen sind, und auf die Fahrwasserquerschnitte der Oderschleusen und Schleusenkanäle. Der Einfluß beider Faktoren ist nicht so wesentlich, daß man die Kurven nicht allgemein verwenden könnte. Die an Leerkähnen gemssenen Geschwindigkeiten unterschieden sich nur wenig von den Geschwindigkeiten der beladenen Kähne. Bei Bewegung „von Hand" wird die Horizontalkomponente der Stakkraft mit sinkender Tauchtiefe kleiner, da mit steigender Freibordhöhe die Staken steiler angesetzt werden müssen. Die Steuerfähigkeit eines Kahnes vermindert sich auch mit der Tauchtiefe, so daß beim Passieren der Schleuse mehr Vorsicht angewendet werden muß. Die selbsttätige Bremswirkung sinkt ebenfalls mit der Tauchtiefe, so daß die Bremswege im wesentlichen unverändert bleiben. Ungefähr das gleiche gilt für Aenderung der Fahrwassertiefe, deren Verringerung sich mit Vergrößerung der Tauchtiefe und umgekehrt vergleichen läßt.

Versuchsrechnungen, bei denen die **mittleren Geschwindigkeiten unmittelbar** durch Vergleich der Schiffswiderstände errechnet worden waren, lieferten Ergebnisse mit ausreichender Genauigkeit.

Bei Anwendung der hier beschriebenen Rechnungsweise auf Kähne, deren Geschwindigkeitskurven in obigen Kurventafeln nicht enthalten sind, ist es nur erforderlich, sich neben den Widerstandskurven $W = f(v)$ für die zu untersuchenden Kahnarten auch noch die Widerstandskurve des Breslaues Maßkahnes aufzutragen. Nach Ermittelung der Weglänge entnimmt man den Kurventafeln den dazu gehörigen Geschwindigkeitswert des Breslauer Maßkahnes, greift in den Widerstandskurven den Widerstand des Breslauer Maßkahnes ab und kann dann die diesem Widerstandswert entsprechende mittlere Geschwindigkeit jeder anderen Kahnart unmittelbar ablesen. Dies gilt für alle größeren Kahnarten bis zum 1000-t-Kahn, da sie die gleiche Besatzungszahl wie der Breslauer Maßkahn aufweisen.

Die mittlere Verholzeit:

Nachdem die Einzelverholzeiten V der am Schleusenverkehr beteiligten Fahrzeugarten bekannt sind, die Wahrscheinlichkeitswerte w schon anfangs bei Ermittelung des Fassungsvermögens der Schleusenkammer bestimmt worden sind, errechnet sich die mittlere Verholzeit Vm nach der Beziehung:

$$V_m = \frac{\sum V \cdot w}{\sum w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 28)$$

Die mittleren Verholzeiten des Jahre 1923 bis 1927 wurden für 5 Oderschleusen verschiedener Größe berechnet und dann durch die sich aus den statistischen Unterlagen ergebenen Verholzeiten nachgeprüft. Die Werte stimmten bis auf Abweichungen von höchstens 5 % überein.

IV. Die Schleusen-Leistung.

Aus den Summen der einzelnen Zeitaufwände folgen die Schleusungszeiten:

S_T für die einfache Talschleusung,

S_B „ „ „ Bergschleusung,

S_K „ „ „ Kreuzungsschleusung.

Die tägliche Schleusenleistung Q beträgt dann, sofern in b Stunden geschleust wird, bei einem Verhältnis von Talverkehr zu Bergverkehr m : n (m + n = 1) und bei p_T % beladenen Fahrzeugen von 100 % Talverkehr und p_B % beladenen Fahrzeugen von 100 % Bergverkehr:

1) bei reinem Talverkehr:

$$Q = \frac{b}{S_T} \cdot Z_m \text{ Fahrzeuge} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 29)$$

$$Q = \frac{b}{S_T} \cdot Z_m \cdot L_m \frac{p_T}{100} \text{ Tonnen Ladung;} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 30)$$

2) bei reinem Bergverkehr:

$$Q = \frac{b}{S_B} \cdot Z_m \text{ Fahrzeuge} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 31)$$

$$Q = \frac{b}{S_B} \cdot Z_m \cdot L_m \frac{p_B}{100} \text{ Tonnen Ladung;} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 32)$$

3) bei Tal- und Bergverkehr:

Bergschleusungen wechselseitig eingeordnet:

$$Q = \frac{b}{(m-n)\,S_T + n S_K} Z_m \text{ Fahrzeuge;} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 33)$$

$$Q = \frac{b \cdot Z_m \cdot L_m \frac{(p_T + p_B)}{200}}{(m-n)\,S_T + n S_K} \text{ Tonnen Ladung;} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 34)$$

Hierin bedeuten Zm die mittlere Zahl der Fahrzeuge je Schleusung und Lm die Ladung des mittleren Fahrzeuges.

Diese Gleichungen sind bei Berücksichtigung von teilweiser statt voller Auslastung noch entsprechend weiter zu unterteilen.

Die jährliche Schleusenleistung.

Bei voller Ausnutzung einer Schleuse darf man keineswegs ununterbrochen Dauerbetrieb annehmen.

Die mittleren täglichen Leistungen sind geringer als die Tageshöchstleistungen,

1) wegen des nicht gleichmäßigen Verkehrs; die Kähne treffen im wirklichen Betrieb in ungleichen Abständen ein, wodurch Betriebspausen entstehen;

2) weil die Schleusenkammer nicht immer voll ausgenutzt wird, oft werden Schleusungen mit weniger als Z_m Fahrzeugen ausgeführt.

Nach Beobachtungen an der Oder ist bei normaler Wasserführung des Flusses mit Rücksicht auf diese beiden Punkte mit einer Verringerung der Schleusenleistung zu rechnen, die in verkehrsreichen Zeiten nach vorsichtiger

Schätzung durchschnittlich rd. 30 % beträgt, ein Wert, der auch für andere Wasserstraßen annähernd richtig sein wird.

Sofern m : n (m + n = 1) das Verhältnis von Tal- zu Bergverkehr ist, folgt bei B Betriebstagen im Jahr für den jährlich möglichen Höchstverkehr J, bei bm täglichen Betriebsstunden im Mittel (an den Oderschleusen 13,6 Std.) der Näherungswert:

$$J = \frac{0{,}7\ B \cdot b_m \cdot Z_m}{(m-n)\ S_T + n \cdot S_K} \text{ Fahrzeuge;} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 35)$$

$$J = \frac{0{,}7\ B \cdot b_m \cdot Z_m \cdot L_m \ \frac{(p_T + p_B)}{200} \text{ jährliche Ladung}}{(m-n)\ S_T + n\ S_K} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 36)$$

V. Zusammenfassung.

Die in dieser Abhandlung beschriebene Rechnungsweise ermöglichte es, einen Leistungsvergleich der Oderschleusen aufzustellen und auf Verbesserungen zu schließen, durch die alle Schleusen auf gleiche Leistungen gebracht werden können. Ferner ließen sich die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Wasserstraße bestimmen.

Diese zur Ermittelung des verkehrstechnischen Wertes der kanalisierten Oder durchgeführte Untersuchung lieferte außerdem folgendes allgemein gültige Ergebnis:

1) Auf Grund der Zusammensetzung des Verkehrs läßt sich die Leistungsfähigkeit jeder bestehenden Fluß- oder Kanalschleuse ermitteln.
2) Bei Aufstellung von Schleusenentwürfen kann die für die verlangte Leistung erforderliche Schleusengröße berechnet werden, indem bei gleicher Breite die Kammerlänge so lange verändert wird, bis erforderliche und vorhandene Leistung übereinstimmen.
3) Es besteht die Möglichkeit, die Abmessungen der Schleuse wirtschaftlich zu wählen, da die kleinste für den vorauszusehenden Höchstverkehr einer Wasserstraße gerade ausreichende Schleuse die wirtschaftlichste ist.
4) Aus der Zahl der bei Höchstleistung vorzunehmenden Schleusungen bestimmt sich der jährliche Betriebswasserverbrauch mit ziemlicher Genauigkeit.